E/CONF.39/A/129
17 Oct.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.4.3.2 Italie

LES FACTEURS DETERMINANTS DE L'EVOLUTION DE L'ENERGIE NUCLEAIRE DANS LES REGIONS PEU DEVELOPPEES

Par le Professeur Arnaldo M. ANGELINI,
Professeur à l'Université de Rome,
Membre de la Commission exécutive du Comité national
de l'Energie nucléaire

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

LES FACTEURS DETERMINANTS DE L'EVOLUTION DE L'ENERGIE NUCLEAIRE DANS LES REGIONS PEU DEVELOPPEES.

par le Professeur Arnaldo M. ANGELINI, professeur à l'Université de Rome,
membre de la Commission exécutive du Comité national de l'Energie nucléaire

INTRODUCTION

Il est tout à fait naturel que l'apparition et le développement rapide d'une nouvelle source telle que l'énergie nucléaire aient déterminé de grands espoirs en ce qui concerne l'approvisionnement en énergie des régions sous-développées.

Ces espoirs, alimentés par les progrès incessants de la technique nucléaire, ont influencé parfois dans la direction d'un optimisme exagéré les évaluations qui, à plusieurs reprises, ont été effectuées à propos du concours de l'énergie nucléaire à l'industrialisation de ces régions.

Le but de ce rapport est celui de donner un bref aperçu des conditions qui doivent se vérifier pour que l'énergie nucléaire puisse contribuer, d'une façon efficace et à des conditions compétitives avec les autres sources, à l'évolution des aires sous-développées.

Il est utile de considérer deux cas possibles:

1) l'aire sous-développée représente une partie plus ou moins grande du territoire d'un Pays qui, par ailleurs, présente une industrialisation avancée;

2) l'aire en question s'étend à tout le territoire du Pays considéré.

Il est en outre nécessaire de distinguer en quelque sorte entre deux types de sous-développement, le premier concernant le cas où il n'existe aucune manifestation industrielle dans le sens qu'on attribue aujourd'hui à cette expression, et le deuxième se rapportant au cas où le développement industriel a atteint des proportions relativement modestes par rapport à la situation moyenne de l'Europe.

Il est malheureusement impossible d'exprimer ces distinctions au moyen de chiffres.

1) LES BESOINS EN ENERGIE ELECTRIQUE DANS LES REGIONS PEU DEVELOPPEES

Dans une région où le développement industriel est tout au début, les besoins d'énergie électrique sont presque nuls au départ de son évolution et se développent ensuite avec une densité superficielle souvent très irrégulière, influencée surtout par la distribution de la population.

Dans ce stade de développement, dont la durée bien difficilement pourra être inférieure à une dizaine d'années, l'énergie nucléaire ne peut être prise en considération pour des raisons élémentaires qui, d'ailleurs, apparaîtront évidentes dans la suite.

Un Pays dans lequel le développement industriel a atteint un stade bien inférieur à celui moyen - dans le sens qui a été précisé dans l'introduction - présente une consommation spécifique(par habitant et par an), généralement inférieure à la moitié de la valeur actuelle européenne. Il va de soi que cette distinction a une valeur purement indicative.

Le besoin annuel d'énergie dépend naturellement de l'étendue du territoire, de sa population et d'autres facteurs,parmi lesquels est particulièrement importante la nature des applications industrielles plus développées.

En tout cas, pour qu'on puisse parler d'adoption économique de la source nucléaire, la consommation d'énergie doit atteindre quelques milliards de kWh par an pour les raisons qui seront précisées dans la suite.

Mais ce qui est particulièrement important est la valeur maxima et minima de la puissance et leur rapport. D'une façon générale, les éléments fondamentaux qui intéressent le plus en ce qui concerne notre étude sont représentés essentiellement par la valeur maxima de la puissance nécessaire pour satisfaire le besoin maximum de pointe au cours de l'année et l' "utilisation" de cette puissance définie par le nombre de kWh consommés globalement par kW de pointe. °)

Il est d'autre part indispensable de préciser que la définition rappelée est significative à la condition que les centres de production et les centres de consommation d'énergie sont interconnectés entre eux de façon telle à permettre tout échange d'énergie.Si ce n'est pas le cas, ce qui précède se rapporte au réseau interconnecté plus étendu du pays.

°) - On obtient le chiffre qui représente l' "utilisation" en divisant la consommation annuelle exprimée en kWh par la pointe de puissance exprimée en kW. Ce chiffre,qui a les dimensions du temps et peut s'exprimer en heures, est souvent dénommé par le terme "durée d'utilisation".

Cette considération nous conduit à examiner la situation d'un pays qui comprend des aires sous-développées de façon différente suivant que ces aires sont interconnectées ou non avec le reste du pays. Dans la plupart des cas l'interconnexion existe, mais il arrive parfois que cette condition n'est pas satisfaite: c'est souvent le cas des îles, telles que la Sicile avant la construction de la traversée du détroit de Messine et la Sardaigne (pour laquelle d'ailleurs une connexion par câble sous-marin avec la péninsule italienne est prévue dans le délai de deux ou trois ans).

Revenant à la définition précédente, il est évidemment impossible de donner des critériums qui permettent d'évaluer à priori l' "utilisation" caractéristique du besoin d'énergie d'un pays ou d'une région: un examen de détail est en effet nécessaire pour chaque cas particulier. Toutefois, puisque cette relation, faute d'espace et de temps, ne peut que se limiter à des conclusions orientatives et de caractère général, il suffira de constater que le nombre de kWh par kW de pointe, c. à d. l' "utilisation" caractéristique d'une région varie relativement peu d'un cas à l'autre autour de la valeur de 3000 kWh de consommation annuelle par kW de pointe. Ce chiffre descend à 2500 kWh/kW et même moins dans les régions à développement industriel très limité et augmente jusqu'à 4000 kWh/kW dans les régions à l'industrialisation poussée. Cette sorte de dépendance - qui, bien entendu, n'a rien d'absolu! - entre "utilisation" de la puissance et niveau de développement industriel, comme nous le verrons bientôt, a une remarquable influence sur les conclusions auxquelles nous parviendrons.

D'une façon générale, et sans exclure la possibilité d'exceptions, nous pouvons affirmer que au fur et à mesure que l'industrialisation progresse la consommation d'énergie et son "utilisation" augmentent.

Le taux d'augmentation du besoin d'énergie est très variable d'un cas à l'autre dans les régions sous-développées et manifeste une tendance assez marquée à se stabiliser autour de l'allure définie par la loi d'Ailleret qui prévoit le redoublement en dix années, qui correspond à une augmentation de 7% par an.

Au début du développement industriel d'une région sous-développée le taux d'augmentation du besoin d'énergie est inférieur à celui donné par la loi d'Ailleret si l'industrialisation n'est pas en quelque sorte stimulée par des dispositions gouvernementales et des facilitations: il est bien supérieur dans le cas contraire. A titre d'exemple il vaut peut être la peine de rappeler qu'à la suite des dispositions du gouvernement italien, qui a favorisé l'industrialisation du midi de l'Italie par un effort financier remarquable, (administré par la "caisse du midi"), la consommation est

augmentée avec un taux qui a atteint le 16%. °)

A ce point de vue, chaque Pays présente une physionomie propre et toute particulière qu'il est absolument impossible de classifier dans un cadre général.

2) CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION D'ENERGIE PAR LES CENTRALES NUCLEAIRES.

La variabilité des conditions et les incertitudes caractéristiques de la matière qui forme l'objet de ce rapport sont telles que il serait tout à fait inutile de procéder ici à un examen détaillé des éléments qui caractérisent au point de vue économique la production de l'énergie nucléaire. Il est donc suffisant d'appuyer nos considérations aux deux termes essentiels de l'expression binôme du coût de l'énergie produite par les centrales thermiques traditionnelles et nucléaires.

Le premier terme, dénommé "terme fixe", représente la dépense annuelle fixe totale (y compris intérêt, ammortissement, etc.) par kW de puissance installée, dans la centrale, et le deuxième, dénommé "terme proportionnel", représente la dépense (essentiellement destinée à l'approvisionnement du combustible) par kWh produit.

Les deux termes ont une valeur qui est fortement influencée par la nature et la puissance du moteur thermique de même que par le type de combustible utilisé.

Une comparaison de ces termes suivant le type d'installation, le combustible employé et la puissance, serait très intéressante mais ne peut pas rentrer dans les limites imposées à ce rapport. Nous devons donc nous borner à quelques conclusions relatives surtout aux générateurs alimentés par combustible nucléaire.

Le coût de l'énergie obtenue par les centrales thermiques nucléaires est encore à l'état actuel sensiblement supérieur partout au coût de l'énergie traditionnelle.

La différence entre le coût de l'énergie nucléaire et de l'énergie traditionnelle, est minime pour les installations de grande puissance (il va de soi qu'on compare deux installations - nucléaires et traditionnelles - de même puissance) et pour "l'utilisation" maxima de la puissance; en effet, la diminution des frais annuels fixes par kW installé avec l'augmentation de la puissance est plus sensible pour les centrales nucléaires que pour les centrales traditionnelles, D'ailleurs on sait bien que

°) Ce chiffre se rapporte au midi de la péninsule italienne, à la Sicile et la Sardaigne prises dans leur ensemble.

pour les centrales de grande puissance (au-delà de 100 ou 200 mille kW) les frais fixes s'élèvent aujourd'hui à trois fois environ les frais relatifs aux installations traditionnelles de même puissance. Et puisqu'on espère que le coût proportionnel de l'énergie nucléaire puisse descendre bientôt sensiblement au-dessous du coût proportionnel de la production thermique traditionnelle, on voit de suite l'intérêt qu'on a à exploiter les centrales nucléaires pour des utilisations aussi élevées que possible pour "diluer", pour ainsi dire, les frais fixes par kW dans le nombre maximum de kWh.

Si l'on peut considérer bien fondé l'espdr de voir descendre le coût de l'énergie nucléaire au-dessous du coût de l'énergie traditionnelle pour les grandes puissances et pour des utilisations sensiblement élevées (par exemple au-delà de 5000 kWh par kW), il est bien difficile que l'énergie nucléaire puisse devenir compétitive avec l'énergie traditionnelle pour des puissances unitaires de l'ordre de quelques milliers, ou même de quelques dizaines de milliers de kW et pour des utilisations relativement modestes : par exemple 3000 kWh par kW. Cela ne veut pas dire naturellement qu'un jour ou l'autre, dans le futur, les progrès de la technique ne permettront d'atteindre la compétitivité de l'énergie nucléaire même pour ces conditions défavorables, mais aucune prévision ne peut être avancée aujourd'hui à ce sujet.

Les considérations précédentes se rapportent essentiellement à la comparaison économique entre la production de deux unités traditionnelle et nucléaire.

Dans le cas d'un système de plusieurs centrales nous devons considérer la nécessité d'installer une réserve de puissance dont la valeur soit au moins égale à la puissance de la plus grande unité connectée avec le réseau. On doit, en effet, prévoir des périodes d'arrêt qui, dans le cas des unités nucléaires, sont rendues nécessaires non seulement pour des travaux d'entretien, mais aussi bien dans la plupart des cas pour le remplacement de la charge de combustible. *)
Or, par sa nature, même l' "utilisation" de la réserve de puissance ne peut être que très modeste, ce qui conduit à exclure qu'elle puisse être réalisée par unités nucléaires.

Nous pouvons conclure que suivant des prévisions bien fondées, au cours de cette décade le coût de l'énergie nucléaire atteindra les limites compétitives pour les grandes unités destinées à "remplir" la base des diagrammes de charge, qui est caractérisée par une "utilisation" élevée.

A cette conclusion, qui est d'ailleurs bien connue, il faut ajouter une remarque sur laquelle nous nous permettons d'attirer l'attention : occuper la base du diagramme de charge avec la production nu-

*) Pour certaines installations en projet on a prévu le rechargement du combustible nucléaire avec la centrale en service.

cléaire, signifie réduire l' "utilisation" de la partie résiduelle du diagramme même : cette réduction, qui est bien loin d'être négligeable, entraîne nécessairement une augmentation du coût de l'énergie traditionnelle par laquelle on satisfait les besoins résiduels. Or, il est évident qu'on ne peut négliger ce fait quand on évalue les conséquences économiques du concours de l'énergie nucléaire à la satisfaction des besoins d'un Pays ou d'une région. Cette influence est d'autant plus grande que l'occupation de la base du diagramme par l'énergie nucléaire est plus marquée. *)

Il est encore à considérer le cas où le pays ou la région que l'on considère peut satisfaire, à des conditions économiques favorables, une partie remarquable de ses besoins énergétiques par des centrales hydroélectriques.

Dans ces conditions la production thermique (traditionnelle et nucléaire si c'est le cas) est destinée à satisfaire la différence entre le besoin et la production hydraulique qu'on a intérêt à utiliser jusqu'au dernier kWh. Or, il arrive bien souvent que cette différence est caractérisée par une variabilité telle au cours de l'année qu'il serait absolument antiéconomique la satisfaire, même en partie, par la production nucléaire.

3) POSSIBILITES ECONOMIQUES D'EMPLOI DE L'ENERGIE NUCLEAIRE DANS LES PAYS SOUS-DEVELOPPES

L'exposé des deux paragraphes qui précèdent nous permet d'arriver rapidement aux conclusions suivantes.

a) Considérons d'abord le cas où il n'existe pas d'empêchements graves d'ordre technique ou/et économique ou des raisons particulières politiques ou de sûreté à l'approvisionnement des sources d'énergie traditionnelles.

Dans ce cas le choix de la source nucléaire est conditionnée à la réalisation de la compétitivité avec les sources traditionnelles suivant les critériums résumés dans ce qui précède. En bref :

a) L'énergie nucléaire n'est pas à prendre en considération pour satisfaire les besoins d'un pays, ou d'une région électriquement séparée, tout au début du développement industriel.

b) Pour que l'énergie nucléaire puisse contribuer d'une façon efficace du point de vue économique au développement d'un pays ou d'une région, il est nécessaire que l'industrialisation ait atteint un niveau tel que les besoins de puissance du réseau interconnecté plus étendu soit de l'ordre de plusieurs centaines de milliers de kW, et en tout cas, que la puissance minima des heures creuses de la période moins chargée de l'année atteigne au moins 200 ou 300.000 kW.

*) Ou par n'importe quelle autre source : par exemple énergie provenant d'usines hydroélectriques au fil de l'eau, géothermiques, à combustibles pauvres, etc.

Ce sont les conditions qui permettent d'utiliser des unités nucléaires capables de rentrer dans les limites économiques indiquées précédemment.

Même dans ces conditions, pour que l'énergie nucléaire puisse résulter économique actuellement, il faut que le coût d'approvisionnement des combustibles traditionnels soit particulièrement élevé à cause de frais de transport (comme c'est le cas des régions lointaines des ports outillés pour le débarquement des combustibles solides et liquides) ou pour d'autres raisons.

On voit tout de suite qu'un examen de ce genre ne peut se faire qu'en considérant séparément chaque cas particulier.

A ce point on peut se demander si, en général, il est à recommander à un pays sous-développé qui accomplit un effort pour élever son niveau industriel, d'installer des centrales nucléaires pour la production de l'énergie avant que les conditions compétitives soient atteintes et cela dans le but de faire l'expérience avec la nouvelle technique.

Notre point de vue à cet égard est que quand un Pays se trouve dans les conditions mentionnées et accomplit un effort pour élever son niveau de vie en poussant le progrès de l'industrialisation, il est indispensable d'établir dans l'utilisation des moyens financiers disponibles l'ordre de priorité qui permet d'obtenir le taux d'amélioration le plus élevé possible. A notre avis il est peu probable que dans un pays sous-développé une production industrielle d'énergie nucléaire à des conditions non économiques puisse entrer en ligne de compte.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que cela ne signifie pas qu'il ne soit utile de destiner des moyens financiers pour l'établissement des écoles et des laboratoires pour la formation des ingénieurs et des techniciens nucléaires. Pour la réalisation de ce but, l'engagement financier est bien plus modeste que celui nécessaire pour établir des centrales nucléaires de grande puissance qui aujourd'hui comportent, à égalité de puissance, des investissements
trois fois plus grands que ceux nécessaires pour les installations traditionnelles.

b) Il y a des cas où les conditions sur lesquelles nous nous sommes basés ne se sont pas vérifiés : citons quelques exemples.

Nous avons déjà mentionné le cas où l'ubication du pays comporte des difficultés techniques d'approvisionnement des combustibles traditionnels sur place ou d'importation. Le coût du transport peut être tel que l'énergie nucléaire soit moins chère que l'énergie traditionnelle.

Un autre exemple est représenté par l'approvisionnement en énergie des régions polaires où l'approvisionnement des combustibles traditionnels, surtout en certaines époques de l'année, est pratiquement impossible.

Dans ces cas, l'énergie nucléaire permet de résoudre le problème.

Nous avons déjà mentionné le cas où l'emploi de l'énergie nucléaire est suggéré par des raisons de sûreté d'approvisionnement des combustibles traditionnels.

En général, la facilité relative du transport des combustibles nucléaires (qu'on peut effectuer aussi par avion) et l'énorme contenu énergétique par unité de poids permettent de résoudre des problèmes particuliers qu'on ne saurait aborder autrement.

988 F - Oct.1962 - 1,000